

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal
João Victor Rodrigues Barroso Coelho

ESTUDO COMPARATIVO DA EXTRAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PELO
***FORWARDER* COM E SEM ESTRADAS TEMPORÁRIAS**

Diamantina

2020

João Victor Rodrigues Barroso Coelho

**ESTUDO COMPARATIVO DA EXTRAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PELO
FORWARDER COM E SEM ESTRADAS TEMPORÁRIAS**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Eric Bastos Gorgens

Coorientador: Prof. Dr. Ângelo Márcio Pinto Leite

Diamantina - MG

2020

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C672e

Coelho, João Victor Rodrigues Barroso

Estudo comparativo da extração de madeira de eucalipto pelo *forwarder* com e sem estradas temporárias / João Victor Rodrigues Barroso Coelho, 2020.

49 p.: il.

Orientador: Eric Bastos Gorgens

Dissertação (Mestrado— Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2020.

I. Colheita florestal. 2. SIG. 3. Baldeio. 4. Estradas florestais. I. Gorgens, Eric Bastos. II. Título. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

CDD 634.9

JOÃO VICTOR RODRIGUES BARROSO COELHO

**ESTUDO COMPARATIVO DA EXTRAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO
PELO FORWARDER COM E SEM ESTRADAS TEMPORÁRIAS**


Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM CIÊNCIA
FLORESTAL, nível de MESTRADO
como parte dos requisitos para
obtenção do título de MESTRE EM
CIÊNCIA FLORESTAL

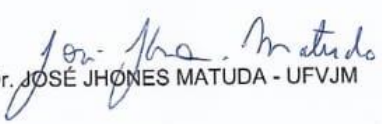
Orientador (a): Prof. Dr. Eric Bastos
Gorgens

Co-orientador: Prof. Dr. Ângelo Márcio
Pinto Leite

Data da aprovação : 05/03/2020


Prof.Dr. ERIC BASTOS GORGENS - UFVJM


Prof.Dr. ÂNGELO MÁRCIO PINTO LEITE - UFVJM


Dr. JOSÉ JHONES MATUDA - UFVJM

DIAMANTINA

À família, amigos e mestres,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela saúde e por não desistir de mim. Agradecer também a Nossa Senhora por estar sempre ao meu lado me dando força.

Aos meus pais, Ivana e José Márcio, por apoiarem minhas decisões, acompanharem meus passos e me darem suporte durante toda a vida.

Ao meu irmão Luis Henrique, companheiro de vida e de república pela amizade e companheirismo.

Aos meus avós Valdomiro (*in memoriam*), Amparo e Zuza, pelos conselhos e orações.

A toda minha família, de sangue ou não, que torceu pelo meu sucesso.

A UFVJM e PPGCF pela oportunidade de aperfeiçoar minha formação.

Ao INPA, em especial ao Niro, por proporcionar uma das melhores experiências da minha vida.

Aos meus amigos da República Puleiro e agregados por tornarem a caminhada mais alegre.

Ao professor Ângelo pela orientação, amizade e contribuições para a realização desse trabalho.

Ao professor Eric, pelo suporte e solicitude importantíssimos para o trabalho.

Ao professor Gustavo Marcatti, da UFSJ, pelas contribuições fundamentais.

Ao Jhones pelas dicas e por ter aceitado o convite de compor a banca.

Ao NECFlor e CTFlor pelo aprendizado e desenvolvimento pessoal constantes.

Aos meus amigos de curso, em especial a Raquel pela amizade e companheirismo.

A Diana, pelo amor, carinho, atenção, companhia e incentivo.

A CENIBRA, pela oportunidade e confiança, em especial ao Bruno Fernandes e Roberto Marta.

A todos aqueles que contribuíram para o êxito do trabalho na qual não estão nomeados aqui, meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Lembre-se de olhar para as estrelas e não para os seus pés.
Tente entender o que vê e se pergunte sobre o que faz o universo existir.
Seja curioso. E por mais difícil que a vida possa parecer,
sempre há algo que você pode fazer e ter sucesso.
O importante é que você não desista. “*

Stephen Hawking

RESUMO

No fornecimento de madeira para a indústria de transformação ou consumidor direto, a fase de extração constitui etapa fundamental, com significativos impactos ambiental e financeiro. Com isso, existe a busca constante por alternativas que possibilitem aperfeiçoar o processo de gestão da colheita florestal. Nessa perspectiva, o estudo objetivou avaliar o comportamento da distância e do custo de extração com o *forwarder* a partir da introdução de estradas temporárias. O estudo de caso foi desenvolvido a partir de dados coletados numa empresa florestal localizada no vale do Rio Doce. Utilizando a ferramenta *Closest Facility* do *Network Analyst* foi possível determinar a distância de extração em um povoamento de *Eucalyptus* spp. considerando a atividade de baldeio, sem e com a introdução de estradas temporárias. A partir desses resultados foi possível calcular o custo de extração da madeira e realizar uma análise de sensibilidade com diferentes cenários. Sem a introdução da estrada temporária, a distância de extração foi de 248 metros, produtividade média de $27,41 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$, custo total de US\$ 43303,09 e custo médio de $3,12 \text{ US\$ m}^{-3}$. Com a introdução da estrada temporária, a distância de extração foi reduzida para 129 metros, aumento da produtividade média para $31,03 \text{ m}^3 \text{ hora}^{-1}$ e diminuição dos custos total e médio para US\$ 41270,73 e $2,97 \text{ US\$ m}^{-3}$, respectivamente. Com a análise de sensibilidade observou-se oportunidades de ganhos ainda mais significativos em redução de custos mas, também, cenários em que a introdução da estrada temporária se mostrou inviável do ponto de vista financeiro. A ferramenta do *Network Analyst* permite ainda se fazer um aprimoramento do microplanejamento visando a atividade de extração.

Palavras-chave: Colheita florestal, SIG, Baldeio, Estradas florestais.

ABSTRACT

In the supply of wood to the processing industry or direct consumer, the extraction phase is a fundamental step in the supply of wood, with significant environmental and financial impacts. As a result, there is a constant search for alternatives that make it possible to improve the forest harvest management process. In this perspective, the study aimed to evaluate the behavior of the distance and the cost of extraction with the forwarder from the introduction of temporary roads. The case study was developed from data provided by a forestry company located in the Rio Doce valley. Using the Network Analyst Closest Facility tool, it was possible to determine the extraction distance in a stand of *Eucalyptus* spp. considering bucket activity, without the introduction and with the introduction of temporary roads. From these results, it was possible to calculate the cost of timber extraction and perform a sensitivity analysis with different scenarios. Without the introduction of temporary roads, the extraction distance was 248 meters, the average productivity of 27.41 m³ hour⁻¹, the total cost of US \$ 43303.09, and an average cost of 3.12 US \$ m⁻³. With the introduction of the temporary road, the extraction distance was reduced to 129 meters, an increase in average productivity to 31.03 m³ hour⁻¹ and a decrease in total and average costs to US\$ 41270.73 and US\$ 2.97 m⁻³, respectively. After the sensitivity analysis was carried out, opportunities for even more significant gains were observed, as well as scenarios in which the introduction of the temporary road proves unfeasible from a financial point of view. The tool also allowed the possibility of improving the microplanning of the extraction.

Key words: Forest harvest, GIS, Timber transportation, Forest roads.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Geral	9
2.2	Específicos	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1	Setor florestal brasileiro	11
3.2	Mecanização e Colheita Florestal.....	12
3.3	Sistemas de colheita florestal	13
3.4	Extração.....	14
3.5	<i>Forwarder</i>	15
3.6	Sistemas de Informações Geográficas	15
4	MATERIAL E MÉTODOS	17
4.1	Caracterização da área de estudo	17
4.2	Base de dados geoespaciais	18
4.3	Caracterização do sistema e equipamentos de colheita florestal adotado pela empresa	18
4.4	Equipamento utilizado	19
4.5	Inclinação do terreno	20
4.6	Alocação dos eitos de extração e união com estradas marginais.....	21
4.7	Pilhas internas de madeira.....	23
4.8	Adicionar informações de altitude para cálculo de distância em 3D.....	24
4.9	Direcionamento do sentido de extração por meio do <i>Network Analyst</i>	25
4.10	Introdução da estrada temporária.....	26
4.11	Cálculo de volume	27
4.12	Produtividade média	27
4.13	Tempo de trabalho	28
4.14	Custo total	28
4.15	Custo médio	29
4.16	Análise de sensibilidade	29
5	RESULTADOS	31
5.1	Distância e custo de extração sem estrada temporária.....	31
5.2	Distância e custo de extração com introdução da estrada temporária.....	32
5.3	Análise de sensibilidade	33
6	DISCUSSÃO	35
7	CONCLUSÃO	39
	REFERÊNCIAS.....	40

1 INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial quando se trata de florestas, independentemente destas serem nativas ou plantadas (LIMA; LEÃO, 2013). Com condições edafoclimáticas favoráveis, o país vem ganhando cada vez mais destaque como produtor de bens madeireiros e não-madeireiros no mercado internacional. Por meio de manejo e técnicas operacionais adequadas é possível garantir a sustentabilidade da produção, com geração de receita, desenvolvimento social e minimização de impactos ambientais.

Na cadeia de produção, cada uma das operações florestais constitui parte fundamental, desde a implantação e manutenção da floresta até o beneficiamento e transporte. Do ponto de vista econômico, a etapa que mais onera o custo é a colheita (LINHARES et al., 2012). De acordo com Machado (2014), a colheita juntamente com o transporte pode representar 50% ou mais do custo final da madeira posta no local de utilização. Nas operações de colheita, a extração florestal é um ponto crítico devido ao elevado custo operacional e aos impactos na unidade de manejo, já que o trânsito de máquinas e equipamentos de elevado peso causam significativos danos ao solo (SZYMCZAK et al., 2014).

São diversos os fatores que influenciam na produtividade e custos da extração florestal como a inclinação do terreno, tipo de solo, produtividade da floresta, performance do operador, distância média de extração, entre outros (MALINOVSKI et al., 2006). Dentre esses fatores, a distância média de extração é fundamental, pois quanto maior o deslocamento, mais tempo a máquina realiza atividades passivas em seu ciclo operacional, contabilizando tempos improdutivos.

A redução da distância média de extração traz resultados positivos em termos financeiros e ambientais. Distâncias menores implicam em menos deslocamento no talhão, gerando ciclos operacionais mais rápidos e produtivos, assim como um menor número de passadas no eito de extração (SOUZA, 2013). Com a diminuição do tráfego nos eitos de extração, operações agressivas de intervenção no solo serão menos necessárias, evitando a quebra da estrutura e o carregamento de partículas, favorecendo a atuação de processos erosivos.

Relacionadas diretamente com a distância média de extração, as estradas florestais tem papel fundamental em qualquer etapa no ciclo de produção florestal. Por meio dessas estradas é possível levar suprimentos, mão-de-obra, maquinário e garantir o escoamento da produção, além de permitir o trânsito de pessoas que vivem em comunidades próximas às

florestas. Porém, os altos custos de construção e manutenção, perda de área de produção e alto impacto ambiental com remoção e exposição do solo são algumas das razões que justificam buscar alternativas para equalizar os benefícios e custos.

Dentre as ações tomadas para reduzir a distância média de extração, sem construir estradas permanentes, tem-se a construção de estradas temporárias. Essas infraestruturas possuem diferentes denominações como carreadores ou ramais. Tais estruturas viárias se mostram atrativas em situações onde a distância de extração é extensa, as florestas apresentam alta produtividade e o relevo local é plano. De posse de informações da floresta, dados geoespaciais e financeiros é possível realizar análises de viabilidade de implantação dessas obras.

Uma ferramenta fundamental que auxilia no tratamento e análise dessas informações são os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (EMMERT et al., 2010). Leite (2010) cita que um SIG pode permitir ao planejador visualizar e entender as melhores soluções de problemas, facilitar a tomada de decisões e, até mesmo, alterá-las rapidamente. Pode-se substituir uma solução gerada pelo sistema por uma alternativa que considere fatores adequados para aquele cenário, como fatores políticos e socioeconômicos. Isso faz com que ferramentas SIG sejam uma excelente alternativa no microplanejamento das atividades de colheita florestal.

Aliada a essa ferramenta, a gestão dos custos de colheita é essencial para qualquer organização. Dado seu impacto na composição do custo final da madeira, ganhos em produtividade e melhoria dos processos são visados constantemente (BELLI et al., 2013). A redução dos custos se torna significativa com a escala de produção dos empreendimentos florestais, que possuem grande demanda na indústria de transformação ou consumidor final (SOUZA; PIRES; SILVEIRA, 2011). Por isso, a correta administração dos recursos financeiros auxiliam na manutenção da sustentabilidade econômica do negócio.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a distância e o custo de extração do *forwarder* sem e com introdução de estradas temporárias.

2.2 Específicos

- Calcular a distância e o custo de extração sem a introdução de estradas temporárias;
- Calcular a distância e o custo de extração com a introdução de estradas temporárias;
- Realizar análise de sensibilidade para avaliar o efeito da variação dos custos no valor total da extração.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Setor florestal brasileiro

No início do século XX, Edmundo Navarro de Andrade introduziu para fins comerciais as primeiras espécies de *Eucalyptus* spp. no Brasil. O objetivo de introduzir essa espécie exótica no país, mais precisamente em 1904, era atender a demanda por dormentes e lenha para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro (MARTINI, 2009). A partir disso, a cultura do eucalipto passou a ter cada vez mais importância no cenário nacional, sendo o principal marco da implantação e expansão de florestas plantadas.

Dentre as inúmeras razões para o sucesso do eucalipto no Brasil, Castro et al. (2016) citam a fácil adaptação às diferentes condições ambientais existentes, latitude semelhante à da Austrália e as propriedades que proporcionam os mais diversos usos para a madeira. Atualmente, o gênero *Eucalyptus* é considerado um dos mais importantes plantados no país e em outras regiões tropicais e subtropicais do mundo. Outros fatores que corroboram com esse cenário são o solo, o clima, a tecnologia silvicultural avançada, ciclos rápidos de crescimento, alta qualidade e produtividade das plantações (SALLES et al., 2016).

Além de condições edafoclimáticas favoráveis e grandes investimentos em pesquisa, a instituição de políticas públicas, possibilita um grande aumento na área de florestas plantadas. Em 1965, o Código Florestal Brasileiro de 1934 foi substituído mediante a Lei nº 4.771. Dentre outras obrigações, empresas que utilizavam matéria-prima florestal deveriam plantar suas próprias florestas, e isso acabou incentivando o plantio de eucalipto (VENTURIN et al., 2014).

Outro marco legal que favoreceu a expansão de plantios florestais no país foi a Lei nº 5.106 de setembro de 1966, conhecida popularmente como lei dos incentivos fiscais. De acordo com Castilho (2016), a lei autorizava descontos nas declarações de rendimentos de pessoas físicas ou jurídicas dos recursos empregados em reflorestamento ou uso de maquinários contra a poluição (VIALLI, 2014). Com isso, deu-se início aos plantios de eucaliptos em larga com fins econômicos, principalmente para abastecimento de indústrias do setor de papel e celulose (AQUINO, 2013).

Intensa pesquisa e desenvolvimento em crescimento florestal resultaram em um aumento de quatro vezes na produtividade de madeira no Brasil da década 1970 até 2015 (BINKLEY et al., 2017). O relatório de IBÁ (2015) mostra que o incremento médio anual (IMA) dos povoamentos florestais de eucalipto saltaram de aproximadamente 10 m³/hectare/ano para 40 m³/hectare/ano. A título de comparação, Chile, Austrália e China

possuem IMA de 20, 22 e 23 m³/hectare/ano, respectivamente (IBÁ, 2015). Apesar de números expressivos, alguns autores defendem que ainda há espaço para maiores ganhos de produtividade com a adequação no fornecimento de recursos ao crescimento via atividades silviculturais (HAKAMADA et al., 2015).

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam rápido crescimento quando comparadas com outras espécies florestais, contribuindo significativamente para sua liderança em termo de área plantada no Brasil, sendo a espécie mais utilizada na produção de madeira cerrada, celulose e carvão vegetal (SILVA e CORDEIRO, 2014). Dados da IBÁ (2019) mostram que a área de florestas plantadas no país em 2018 era de 7,83 milhões de hectares, resultado estável quando comparado a 2017. Do total, 5,7 milhões de hectares são ocupados por eucalipto, 1,6 milhão de hectares ocupados por pinus e outras espécies como seringueira, acácia, teca e paricá ocupam 590 mil hectares. No entanto, quando comparada com dados do IBGE (2018), há divergência entre a área de florestas plantadas já que o último estima 9,8 milhões de hectares de área total e 7,54 milhões de hectares de área de eucalipto.

O estado da federação que possui a maior área com reflorestamentos de eucalipto é Minas Gerais com 24% do total nacional, aproximadamente 1,88 milhão de hectares (IBÁ, 2019). Vale destacar que Minas Gerais é o maior produtor e consumidor de carvão vegetal do país, utilizado como biorredutor na siderurgia. No ano de 2018, foram produzidas mais de 5 milhões de toneladas (IBGE, 2018). Dados do IBGE, 2017 apontam ainda a produção de 7,6 milhões de m³ de madeira destinada para lenha e 6,1 milhões de m³ de madeira para celulose no ano de 2017.

Acompanhando a evolução da produtividade e da área plantada, o setor florestal tem ganhado cada vez mais importância na economia brasileira. O setor de árvores plantadas em 2018 gerou uma receita de R\$ 86,6 bilhões, representando 1,3% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e 6,9% do PIB industrial. Contrastado com o ano anterior, o PIB setorial evoluiu 13,1% enquanto a evolução do PIB nacional foi de 1,1%. Além disso, foram gerados 513 mil empregos diretos e arrecadados R\$ 12,8 bilhões em impostos (IBÁ, 2019). Há expectativa de aumentar ainda mais a contribuição do setor, dado principalmente a expansão e implantação de novas linhas de produção de celulose no país nos próximos anos.

3.2 Mecanização e Colheita Florestal

No contexto do setor florestal brasileiro, uma das áreas que mais positivamente afetada pela evolução tecnológica foi a colheita florestal. Com a abertura do mercado nacional às

importações na década de 90, inúmeras marcas e modelos de equipamentos florestais ficaram disponíveis para aquisição por parte de empresas que atuam no setor. A partir da mecanização da atividade de colheita, obtiveram-se ganhos com rápidos com redução de mão-de-obra e custos, assim como aumento de produtividade e humanização do trabalho, melhorando a qualidade do produto final e podendo, ainda, diminuir o nível de danos ambientais (PAULA, 2011). O desenvolvimento da mecanização nas operações de colheita em florestas plantadas, evidencia o Brasil como grande consumidor dos mais importantes mercados de máquinas especializadas no corte, extração e carregamento de madeira (ROBERT, 2013).

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visa preparar e levar a madeira até o local de transporte, fazendo-se o uso de técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final (MACHADO et al., 2014). Além disso, a colheita da madeira é considerada uma das operações de mais alto custo no processo de produção de uma empresa florestal (BERTIN, 2010), constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal (ARCE; MACDONAGH; FRIEDL, 2004). Segundo Rezende et al. (1997), a redução dos custos da colheita é vital para qualquer empresa e uma análise detalhada destes em diferentes métodos de colheita tem papel importante para o entendimento de todo o processo, além de facilitar os estudos com o objetivo de reduzi-los.

O que define basicamente quais os métodos e quais os sistemas de colheita a serem utilizados na operação é finalidade da madeira. Porém, há uma série de outros aspectos importantes a serem observados como a possibilidade de mecanização, inclinação do terreno, disponibilidade de manutenção específica, capital e mão-de-obra disponíveis, entre outros.

3.3 Sistemas de colheita florestal

O sistema de colheita de madeira compreende um conjunto de elementos e processos que envolve a cadeia de produção e todas as atividades parciais, desde a derrubada até a madeira posta no pátio da indústria transformadora (MALINOVSKI et al., 2014). Segundo definição da *Food and Agriculture Organization of United Nations* (FAO), os sistemas de colheita florestal são classificados basicamente pelo tamanho das toras e a forma com que é realizada a extração dessas toras do interior do talhão até o local de processamento, sendo: Sistema de toras curtas (*cut-to-length*): a árvore é derrubada e processada no interior do talhão, sendo retirada com comprimento máximo de 6 metros; Sistema de toras longas (*tree-length*): a árvore é derrubada e processada no interior do talhão, sendo retirada com comprimento superior

a 6 metros; Sistema de árvores inteiras (*full-tree*): a árvore é derrubada e retirada até a margem do talhão, onde será realizado o processamento; Sistema de árvores completas (*whole-tree*): a árvore é arrancada do solo com parte do seu sistema radicular e retirada até a margem do talhão, onde será realizado o processamento; Sistema de cavaqueamento (*chipping*): a árvore é derrubada e removida até a margem do talhão, onde é processada em cavacos.

No Brasil, os dois principais sistemas de colheita são o de toras curtas e o de árvores inteiras, sendo utilizados principalmente pelas empresas de celulose e carvão vegetal, respectivamente. Quanto ao sistema de toras curtas, o modal mais utilizado nas operações é o formado por *harvester* e *forwarder*. O trator florestal *harvester* realiza o abate, processamento e empilhamento das árvores no interior do talhão, enquanto que o *forwarder* realiza o baldeio da madeira para a margem do talhão. Esses tratores florestais possibilitam que grandes áreas sejam colhidas em pequeno espaço de tempo, proporcionando que a crescente demanda de madeira do mercado nacional seja atendida (SANTOS, 2019).

3.4 Extração

Dentro do processo de colheita da madeira, a extração é a etapa de maior complexidade, consistindo da remoção da madeira do interior até a margem do talhão ou pátio intermediário (SEIXAS e CASTRO, 2014). De acordo com Dykstra e Heinrich, 1996, o planejamento da extração deve ter como objetivos: atingir a maior produtividade possível, garantir a segurança das pessoas no entorno da área, reduzir a compactação e possíveis alterações no solo, causar o menor impacto possível nos corpos d'água, diminuir danos às árvores e cepas remanescentes e, extrair toda a madeira cortada para fins de colheita, independentemente de seu volume, sem causar dano à sua qualidade.

Inúmeros fatores influenciam de forma direta a produtividade de máquinas na operação de extração. De acordo com Machado, 2014, os principais são a densidade do talhão, topografia, tipo de solo, volume médio individual e distância de extração. Dentre esses, a distância de extração possui considerável influência, visto que quanto maior a distância mais tempo a máquina despende nas atividades de deslocamento do que no carregamento e descarregamento propriamente ditos.

3.5 *Forwarder*

A principal máquina utilizada na etapa da extração da madeira no sistema de toras curtas é o *forwarder*. Esta máquina é um trator florestal transportador, utilizado no processo de extração da madeira do interior do talhão para as margens das estradas, onde são empilhadas para a realização do carregamento e transporte (LEITE, 2012). Possui um chassi articulado com tração do tipo 4 x 4, 6 x 6 ou 8 x 8, com capacidade de carga de 10 a 22 toneladas, além de uma grua hidráulica usada no carregamento e descarregamento (MACHADO et al., 2014). Esse trator destaca-se pela capacidade de superar condições adversas encontradas na operação em campo, incluindo locais de elevada inclinação (SEIXAS e CASTRO, 2014). No caso da operação com *forwarder* a extração leva o nome de baldeio, já que durante o transporte do interior para a margem do talhão, a madeira não tem contato com o solo.

Devido ao alto custo do *forwarder* é necessária a realização de pesquisas visando o aumento da produtividade por meio de formas mais eficientes de colher, treinamento dos operadores, da melhoria técnica-tecnológica e métodos de preservação do maquinário utilizado. Isso se torna necessário uma vez que esta máquina tem uma vida útil dentro da empresa de aproximadamente cinco anos e, até o final desse período, precisa estar em perfeitas condições de uso para tornar a atividade florestal mais competitiva e lucrativa (SANTOS et al., 2016). Zangh et al., 2016 corroboram com a afirmativa do alto custo operacional, afirmando que o *forwarder* pode representar 43% do custo total da operação do sistema de toras curtas.

3.6 Sistemas de Informações Geográficas

A evolução das tecnologias geoespaciais vem sendo sistematicamente absorvida pelas empresas florestais. Como exemplo, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) foram pioneiros na utilização desse recurso para planejamento e gestão das atividades de colheita florestal, disseminando-se em vários setores como planejamento, proteção, inventário, operacional e meio ambiente (ARAÚJO, 2019).

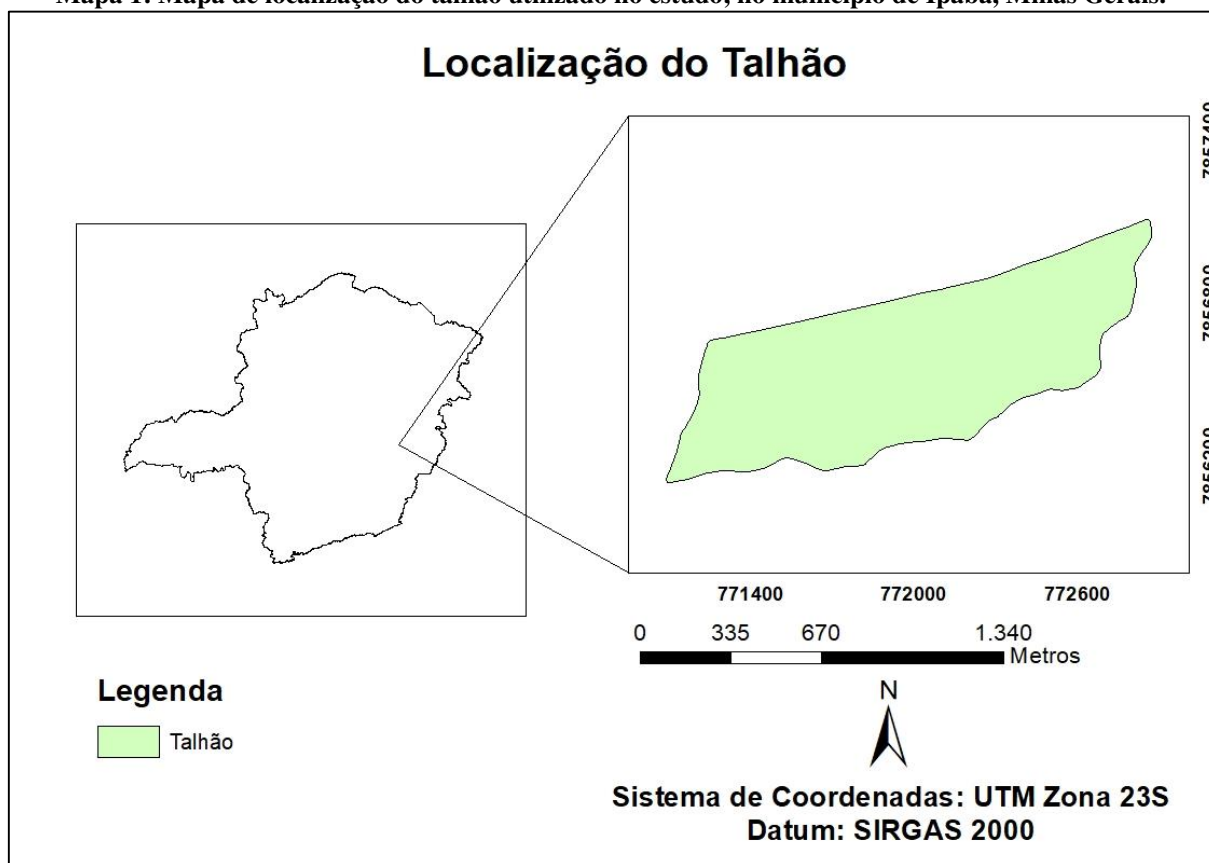
De acordo com Moraes (2014), o SIG é um tipo de geotecnologia que utiliza informações espaciais sobre a localização de determinados atributos da superfície terrestre, permitindo gerenciar dados para auxiliar na resolução de problemas. Isso faz com essa ferramenta seja de enorme utilidade, permitindo processar informações espaciais, criar abstrações digitais do mundo real, gerenciar e armazenar dados geográficos de maneira eficiente, dotado de recursos para criar mapas e relatórios (RIBEIRO et al., 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi desenvolvido em um talhão, localizado no município de Ipaba, região sudeste de Minas Gerais, pertencente a uma empresa florestal do segmento de celulose. O município está inserido sob as coordenadas geográficas latitude 19° 24' S e longitude 42° 25' W. O clima predominante na região é do tipo “Aw”, segundo a classificação de Köppen (tropical úmido, caracterizado por inverno seco e verão chuvoso) e a precipitação média anual varia entre 1200 mm a 1300mm. A temperatura média, varia entre 15,4° e 34,4°C ao longo do ano, com umidade relativa média de 59,8% (LANA, 2006) (MAPA 1).

Mapa 1: Mapa de localização do talhão utilizado no estudo, no município de Ipaba, Minas Gerais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O talhão apresenta área total de 84 hectares (ha), altitude média de 230 metros, espaçamento de plantio de 3x3,33 metros com material genético híbrido de *Eucalyptus* spp., 6,7 anos de idade, incremento médio anual de 25,73 m³/ha, volume comercial com casca de 165,27 m³/ha e volume médio individual comercial com casca de 0,18 m³. O solo local é

classificado como Neossolo Flúvico Tb Eutrófico ou Distrófico típico, textura média ou média /arenosa, horizonte A proeminente, gibbsítico-oxídico, mesoférrico.

4.2 Base de dados geoespaciais

Esta foi fornecida pela empresa, com o *shapefile* contendo as diferentes feições que representavam cada um dos talhões componentes do projeto no qual, o talhão de interesse se localiza. Com isso, foi necessário selecionar a feição de interesse representativa do talhão na tabela de atributos, excluindo-se as demais.

Para a mensuração das distâncias de extração, houve a necessidade de um sistema métrico de coordenadas geográficas estando os dados utilizados, no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e projeção SIRGAS 2000 Zona 23 Sul.

Assim como a localização e limites da área, as informações referentes ao relevo local foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo. Para tal, foi disponibilizado no formato *raster*, o Modelo Digital de Terreno (MDT). Esse modelo foi gerado a partir de uma nuvem de pontos obtidos por meio do levantamento com o sensor laser aerotransportado *Light Detection and Ranging (LiDAR)* com resolução espacial de 0,5 metro. Semelhante ao arquivo *shapefile*, o levantamento aéreo compreendeu uma faixa com área superior à localização do projeto. Com isso, tornou-se necessário recortar apenas a área do talhão escolhido.

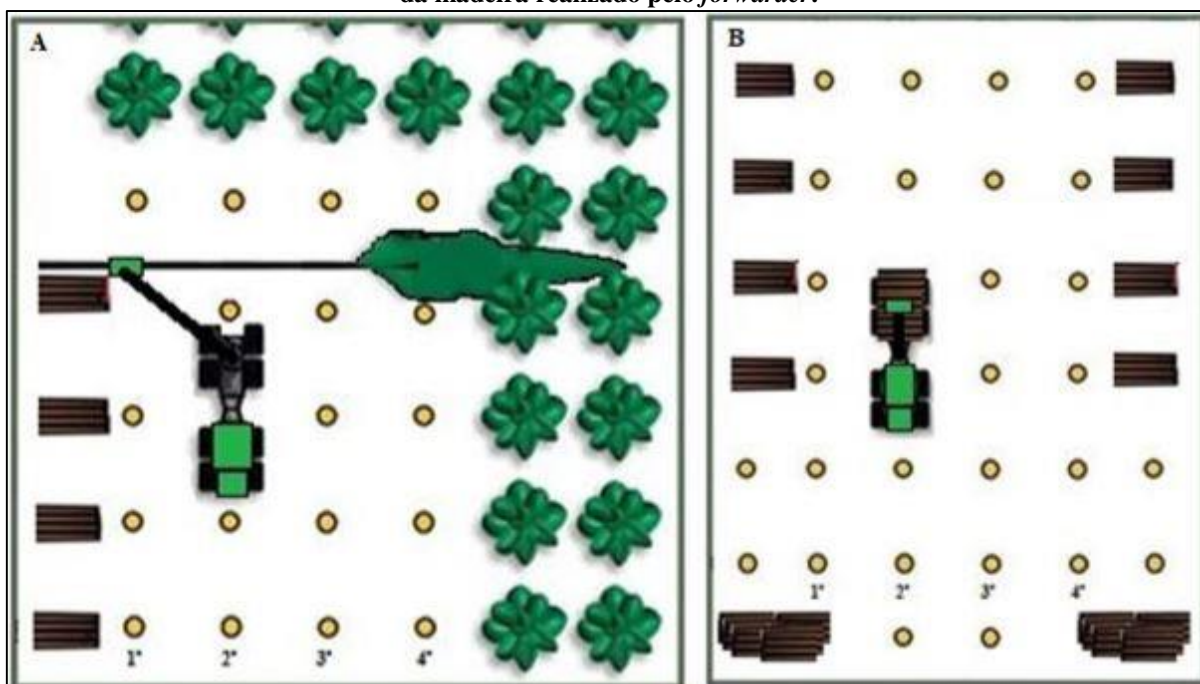
4.3 Caracterização do sistema e equipamentos de colheita florestal adotado pela empresa

O sistema de colheita adotado na empresa é o de toras curtas (*cut-to-length*). As operações de corte e processamento das árvores são realizadas com o *harvester*. Essas operações são divididas em derrubada, desgalhamento, descascamento, destopamento e empilhamento. O *harvester* trabalha com eito de corte composto por quatro linhas, sendo o deslocamento feito sobre a segunda linha. A árvore é derrubada à direita do trator, sendo feito o processamento e empilhamento das toras do seu lado esquerdo (Figura 1A).

O baldeio da madeira processada e empilhada é realizado pelo trator *forwarder*. Com deslocamento semelhante ao *harvester*, a máquina se posiciona sobre a segunda linha do eito de extração, iniciando o carregamento na pilha mais distante em relação ao início do eito (Figura 1B).

Após o carregamento de seu compartimento de carga, o trator se desloca até a margem do talhão e monta as pilhas de madeira que serão posteriormente transportadas ao pátio intermediário ou à fábrica.

Figura 1: A - Esquema ilustrativo do deslocamento e operações de corte e processamento da madeira realizado pelo *harvester*. B - Esquema ilustrativo do deslocamento e operações de carregamento e baldeio da madeira realizado pelo *forwarder*.



Fonte: Araújo, 2019.

4.4 Equipamento utilizado

A Figura 2 mostra o modelo de *forwarder* utilizado no estudo, o John Deere 1910E. Esta máquina é equipada com motor John Deere PowerTech™ Plus diesel de nove litros, potência máxima líquida de 249 HP a 1900 rotações por minuto e torque máximo líquido de 1100 Nm a 1400 rotações por minuto. A lança ou grua hidráulica é do modelo CF8 com alcance máximo de 8,5 m, torque bruto de elevação de 151 kNm.m, torque de giro de 41 kNm.m e ângulo de giro de 380°. O *forwarder* conta ainda com cabine giratória com nivelamento.

As dimensões da máquina são de 10,37 m de comprimento por 3,09 m de largura, com peso operacional de 21.800 kg e 19.000 kg de capacidade de carga. Possui tração 8x8 com 220 kN de torque, rodado misto composto por pneus de baixa pressão e alta flutuação equipados com semiesteiras, podendo atingir velocidade máxima de 21 km/h. O *forwarder* em questão é equipado com guincho de tração auxiliar HAAS com capacidade de tração de 9 toneladas, para

operação em inclinações superiores a 28°. Entretanto, essa condição não foi avaliada neste estudo.

Figura 2: *Forwarder John Deere modelo 1910E*

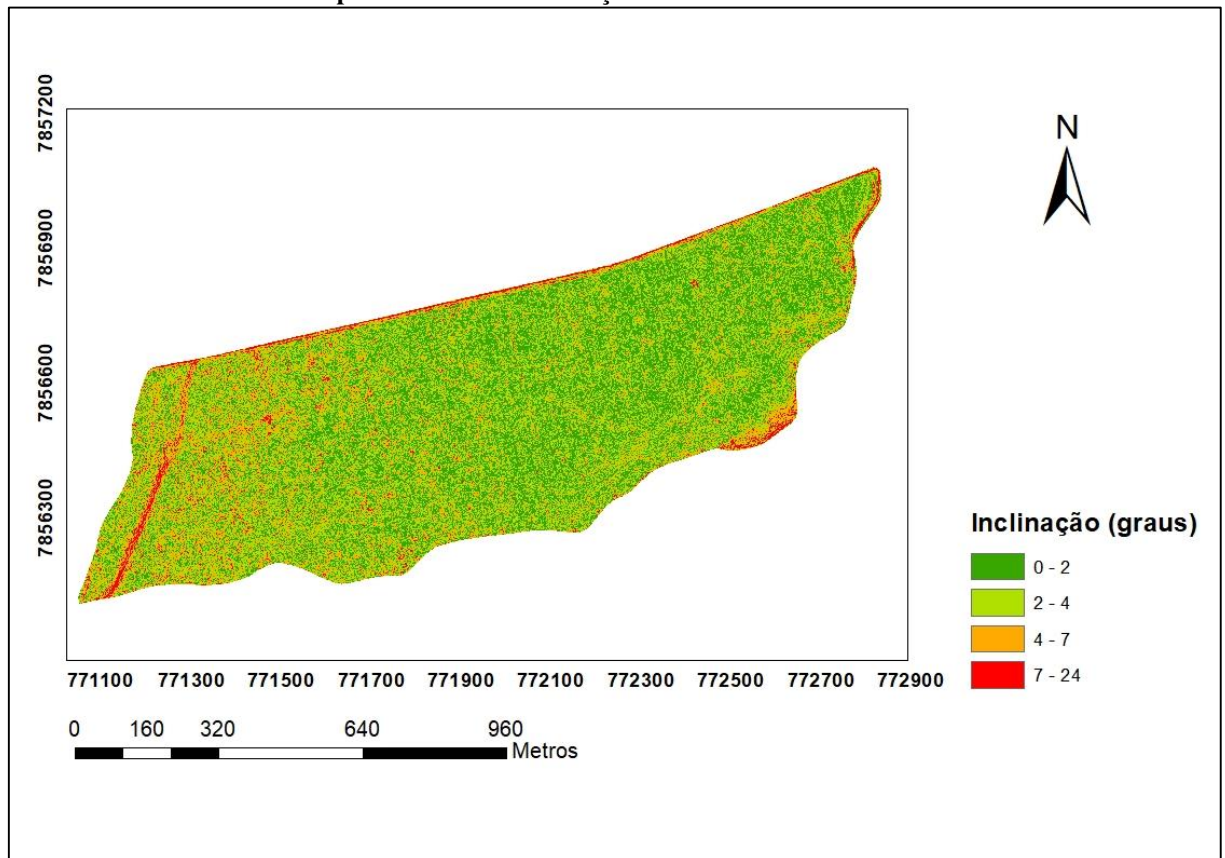


Fonte: Oliveira, 2019.

4.5 Inclinação do terreno

A partir do recorte do MDT do talhão foi utilizada a ferramenta “*Slope*”, que gerou um novo arquivo, tipo *raster*, com a inclinação do talhão classificada em quatro classes. No mapa 2 é apresentada a predominância de relevo plano, com poucos pontos de maior inclinação. A inclinação média do talhão foi de 2,8 graus, sendo essa informação relevante, visto que o carregamento da madeira nos caminhões deve ser realizado preferencialmente em local plano, visando garantir a segurança da operação.

Mapa 2: Classes de inclinação do talhão utilizado no estudo.

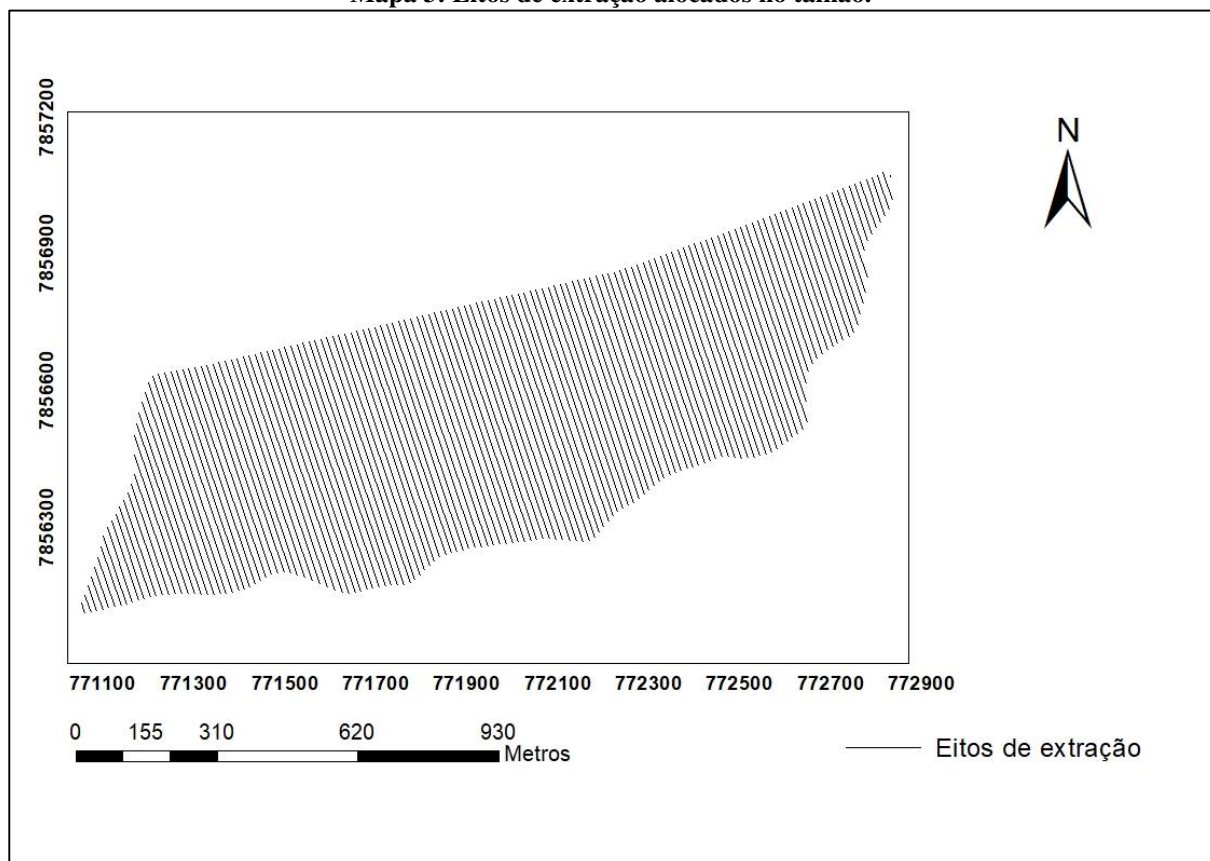


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 Alocação dos eitos de extração e união com estradas marginais

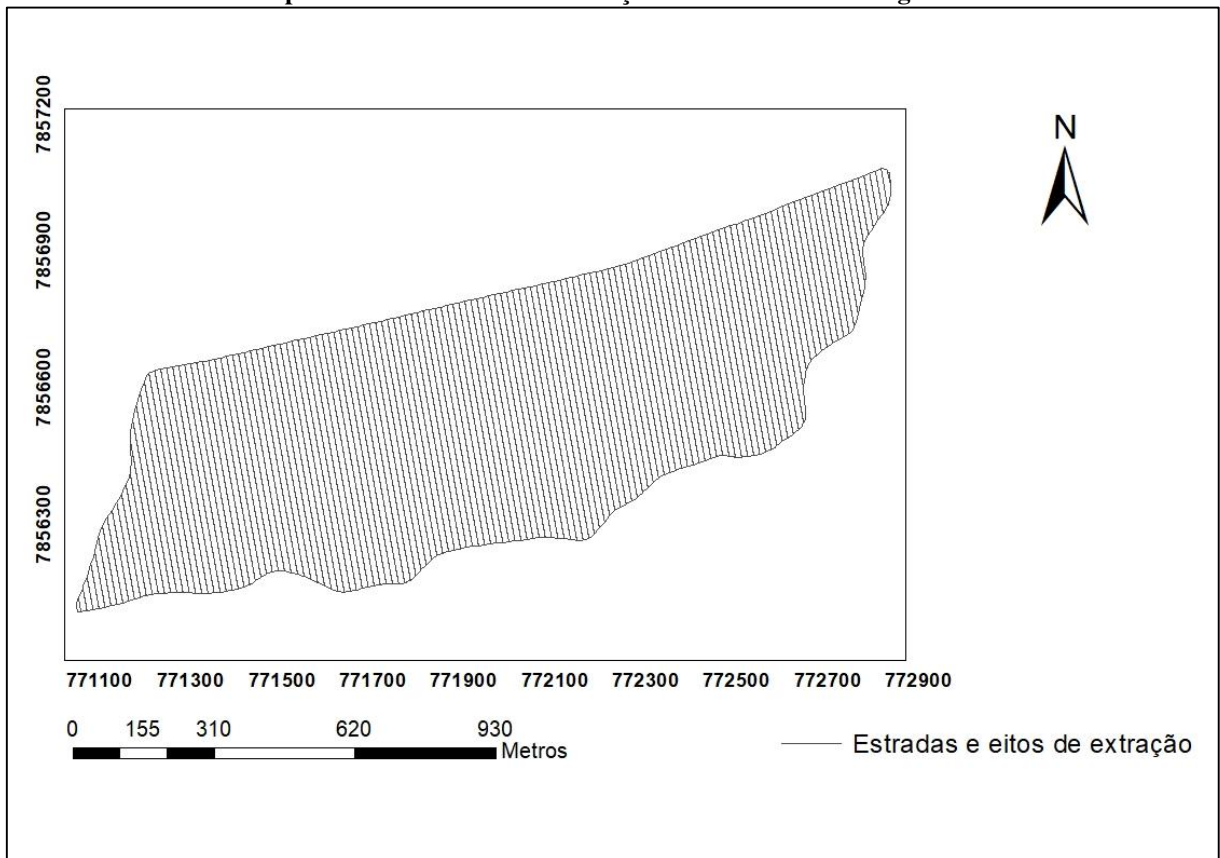
Como o *forwarder* trabalha com quatro linhas no eito de extração (espaçamento de 3,33 metros entre linhas), a cada 13,42 metros foi alocado um eito de trabalho. Por meio da ferramenta “*Create fishnet*” foram gerados eitos que abrangessem toda a área do talhão. Em modo de edição, os eitos (MAPA 3) foram movidos e rotacionados para que acompanhassem as linhas de plantio, sendo que trechos que excediam os limites do talhão foram eliminados com o uso da ferramenta “*Clip*”, tendo o *shapefile* do talhão como camada máscara.

Mapa 3: Eitos de extração alocados no talhão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O deslocamento do *forwarder* ocorre nos eitos de extração e, quando necessário, se posiciona de forma perpendicular aos mesmos. Com isso, foi necessário unir as camadas referentes aos eitos com as estradas localizadas na margem do talhão. Para tal, foi utilizada a ferramenta “*Merge*” (MAPA 4).

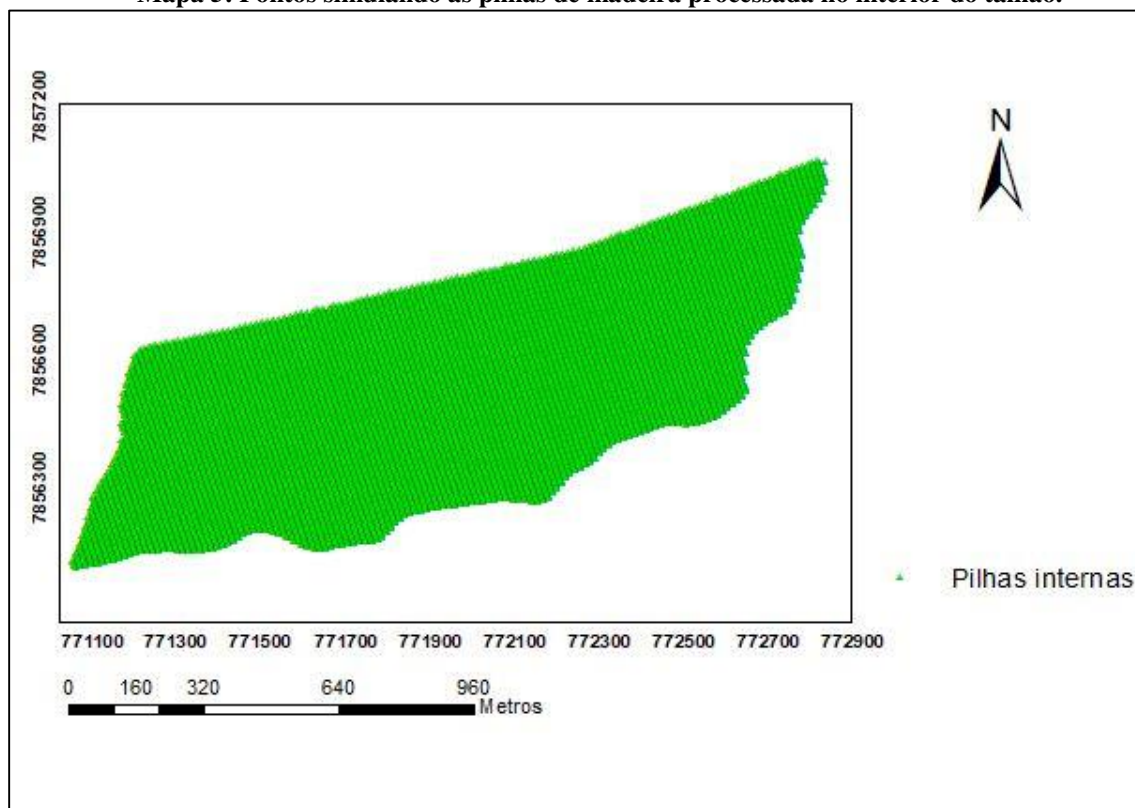
Mapa 4: União dos eitos de extração com as estradas marginais.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.7 Pilhas internas de madeira

A fim de representar as pilhas de madeira alocadas no campo, após o corte e processamento efetuado pelo *harvester* foram criados pontos equidistantes por todo o talhão. Foi gerado assim um novo *shapefile* de pontos, em que cada ponto ficou equidistante 3 metros, representando uma pilha formada por quatro árvores derrubadas e processadas. Os pontos foram gerados em modo de edição por meio da ferramenta “*Construct points*” (MAPA 5).

Mapa 5: Pontos simulando as pilhas de madeira processada no interior do talhão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.8 Adicionar informações de altitude para cálculo de distância em 3D

Para se chegar a um resultado que melhor representasse a realidade foram adicionadas aos *shapefiles* as informações referentes a altitude e inclinação local dos objetos. Foi utilizada para isso a ferramenta “*Add surface information*”, com o MDT do talhão como máscara. As Figuras 3 e 4 apresentam um recorte da tabela de atributos mostrando as informações de altitude, inclinação e comprimento em 2D e 3D.

Figura 3: Valores Z de altitude das pilhas de madeira processada no interior do talhão.

	FID	Shape *	Id	Z
▶	0	Point ZM	0	225,395285
	1	Point ZM	0	225,251392
	2	Point ZM	0	225,080275
	3	Point ZM	0	224,978402
	4	Point ZM	0	224,990155
	5	Point ZM	0	224,905685
	6	Point ZM	0	224,831357
	7	Point ZM	0	225,524889
	8	Point ZM	0	225,527874
	9	Point ZM	0	225,664502
	10	Point ZM	0	225,646
	11	Point ZM	0	225,558501
	12	Point ZM	0	225,434502

Fonte: Próprio autor.

Figura 4: Valores Z de altitude (mínima, máxima e média), comprimento em 2D, inclinação mínima e máxima e comprimento 3D dos eitos de extração.

	FID	Shape *	LEFT FID	RIGHT FID	Id	Z Min	Z Max	Z Mean	SLength	Min Slope	Max Slope	Avq Slope	Length3D
▶	0	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,423928
	1	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,420023
	2	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,420023
	3	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,420023
	4	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,420023
	5	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,430674
	6	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,47235
	7	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,508466
	8	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,511592
	9	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38,940314
	10	Polyline ZM	0	0	0	224,813266	225,272955	225,007971	24,999556	0,14638	7,413803	0	30,395956
	11	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,511592
	12	Polyline ZM	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,504077

Fonte: Próprio autor.

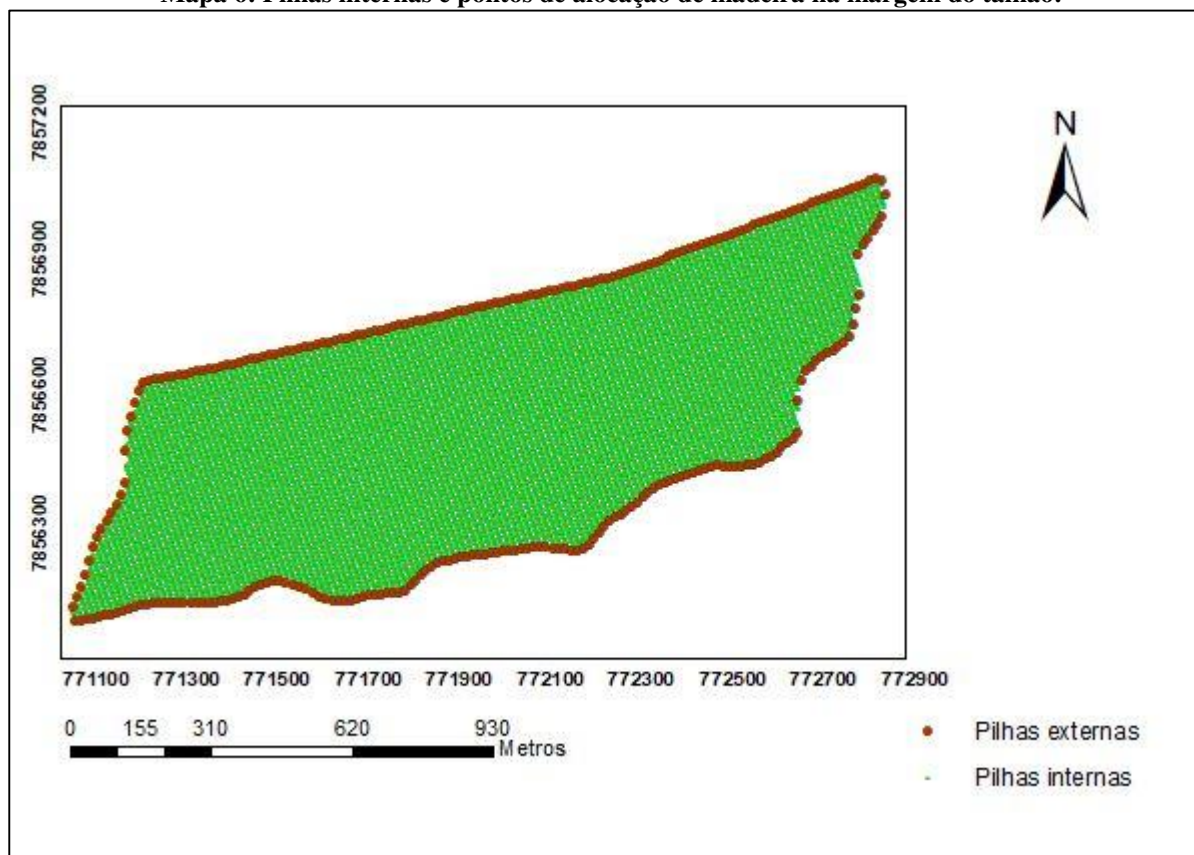
4.9 Direcionamento do sentido de extração por meio do *Network Analyst*

A extensão *Network Analyst* permite realizar análises e manutenção em redes de transporte. Com as ferramentas disponíveis pode-se manter conjuntos de dados de rede que modelam redes de transporte e executam rota, instalação mais próxima, área de serviço, matriz de custo origem-destino, problema de roteamento de veículos e análises de rede de alocação de localização em redes de transporte. No caso desse estudo foi utilizada a ferramenta “*Closest facility*” (instalação mais próxima) para direcionar o deslocamento do *forwarder*.

Para a análise de forma correta foi necessário fazer a aferição da conectividade do *shapefile* utilizado como base para a criação de *network dataset*. A ferramenta “*Planarize lines*” gera pontos nas intersecções do *shapefile*, sendo um modo de garantir a conectividade entre arcos e nós. Após a criação dos pontos de intersecção e checada a conectividade gerou-se o *network dataset* utilizado na análise.

Na organização dos dados para solução do problema pelo “*Closest facility*” foram configuradas como *facilities* as pilhas de madeiras alocadas na margem do talhão, enquanto os *incidents* foram as pilhas de madeira processada no interior do talhão. Não foi definida durante a configuração da ferramenta um sentido arbitrário de deslocamento, fazendo com que o *forwarder* possa se deslocar em qualquer sentido para o ponto mais próximo no caminho definido nos eitos de extração.

Mapa 6: Pilhas internas e pontos de alocação de madeira na margem do talhão.

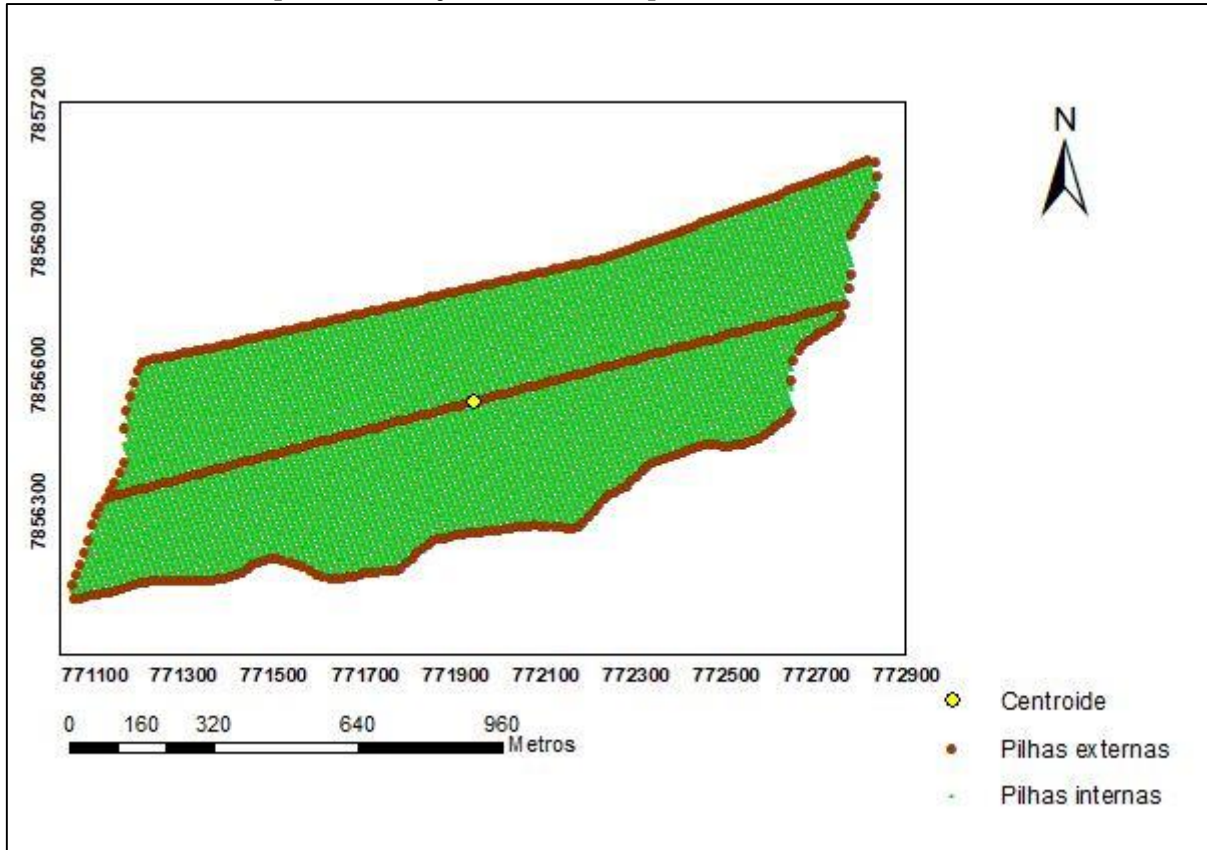


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.10 Introdução da estrada temporária

Considerando os resultados obtidos pode-se avaliar o deslocamento do *forwarder* e definir o local para a introdução da estrada temporária. A partir da análise visual e corroborada pela forma aproximadamente retangular do talhão, considerou-se esta como ponto de referência, o centroide do polígono. O centroide foi obtido com a ferramenta “*Feature to point*” e os demais passos foram realizados de maneira semelhante ao cenário sem a estrada temporária.

Mapa 7: Localização da estrada temporária no interior do talhão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.11 Cálculo de volume

O volume de madeira a ser baldeado foi encontrado por meio da equação 1:

$$Vol = V_{ccc} * \acute{A}rea \quad (1)$$

onde,

Vol = volume de madeira a ser baldeado (m³);

V_{ccc} = volume comercial com casca;

Área = área da subunidade do talhão (hectares).

4.12 Produtividade média

A produtividade média do *forwarder* foi calculada por meio do modelo desenvolvido por Araújo (2019). O modelo foi ajustado para áreas com inclinação de até 27° para a região de Guanhães - MG. No entanto, quando avaliados os dados históricos de produtividade do *forwarder* na região do Rio Doce, a produtividade média desta máquina é aproximadamente 17% menor. Com isso, os resultados obtidos foram multiplicados por um fator de 0,83 para ajuste dos valores para a situação local. A equação 2 apresenta o modelo utilizado:

$$Prod = (45,49165 - 0,0682 * INC - 0,03476 * DE) * 0,83 \quad (2)$$

onde:

Prod = produtividade do *forwarder* (m³ hora⁻¹);

INC = inclinação do terreno (graus);

DE = distância de extração (metros).

4.13 Tempo de trabalho

O tempo necessário para baldear toda a madeira foi obtido por meio da equação 3:

$$H = Vol/Prod \quad (3)$$

onde:

H = tempo demandado (horas);

Volume = volume a ser baldeado (m³);

Prod = produtividade do *forwarder* (m³ hora⁻¹).

4.14 Custo total

O custo total foi obtido a partir do tempo demandado multiplicado pelo custo de operação do *forwarder* fornecido pela empresa, acrescidos do custo de construção da estrada temporária e do custo de replantio. O custo operacional foi baseado em valores referentes a manutenção, peças, óleos combustível e lubrificante, depreciação, rateio (divisão e transporte das máquinas nos diferentes módulos e frentes de colheita) e operador.

$$CT = H \times CF + CET \times CCET + N \times CET \div ESP \times CM \quad (4)$$

onde:

CT = custo total (US\$);

H = tempo demandado na atividade de baldeio (horas);

CF = custo operacional do *forwarder* (US\$/hora);

CET = comprimento da estrada temporária (metros)

CCET = custo de construção da estrada temporária (US\$/metro)

N = número de linhas a serem replantadas

ESP = espaçamento entre linhas (metros)

CM = custo por muda (US\$/muda)

4.15 Custo médio

Corresponde ao custo de extração por metro cúbico de madeira, conforme equação 5:

$$CM = CT/Vol \quad (5)$$

onde:

CM = custo médio (US\$ m⁻³);

CT = custo total (US\$);

Vol = volume de madeira (m³).

4.16 Análise de sensibilidade

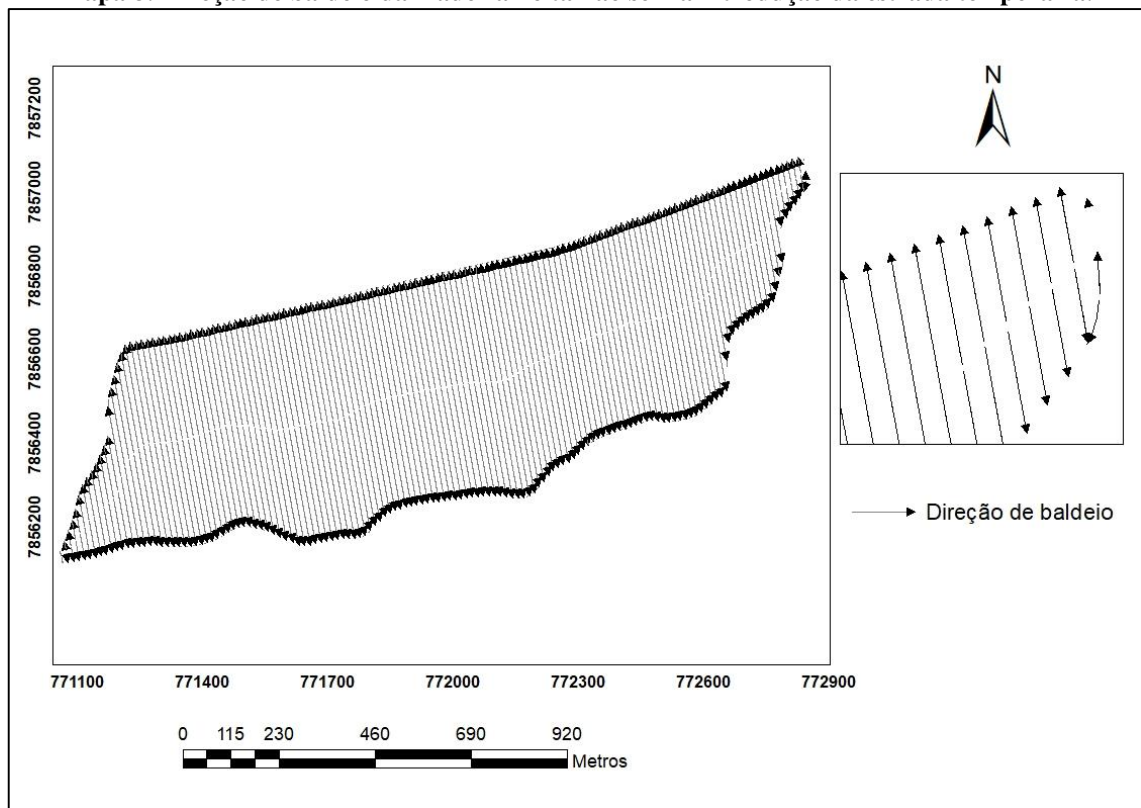
Foi realizada uma para se conhecer o comportamento do custo final da extração de acordo com o número de linhas a serem replantadas (condições de ausência de replantio, replantio em uma linha, em duas linhas e três linhas, respectivamente) e a variação dos custos (aumento e redução nas ordens de 2,5%, 5%, 7,5% e 10%). Em reunião com o supervisor de colheita florestal da empresa foi sugerida uma variação de 10% nos custos. Entretanto, para observar o comportamento do custo de extração com um maior número de variações, o percentual sugerido foi dividido proporcionalmente em quatro partes.

5 RESULTADOS

5.1 Distância e custo de extração sem estrada temporária

Sem a introdução da estrada temporária foram geradas 20918 pilhas no interior do talhão e 289 pontos de alocação de madeira na margem do talhão para a formação das pilhas externas. A distância de extração máxima foi de 286 metros e a distância de extração de 248 metros, com produtividade média de 27,41 m³/h. O custo total de extração foi de US\$ 43303,09, gerando um custo médio de 3,12 US\$/m³. No Mapa 8 é possível observar a direção de baldeio, representada pelas setas no final do eito de extração.

Mapa 8: Direção de baldeio da madeira no talhão sem a introdução da estrada temporária.



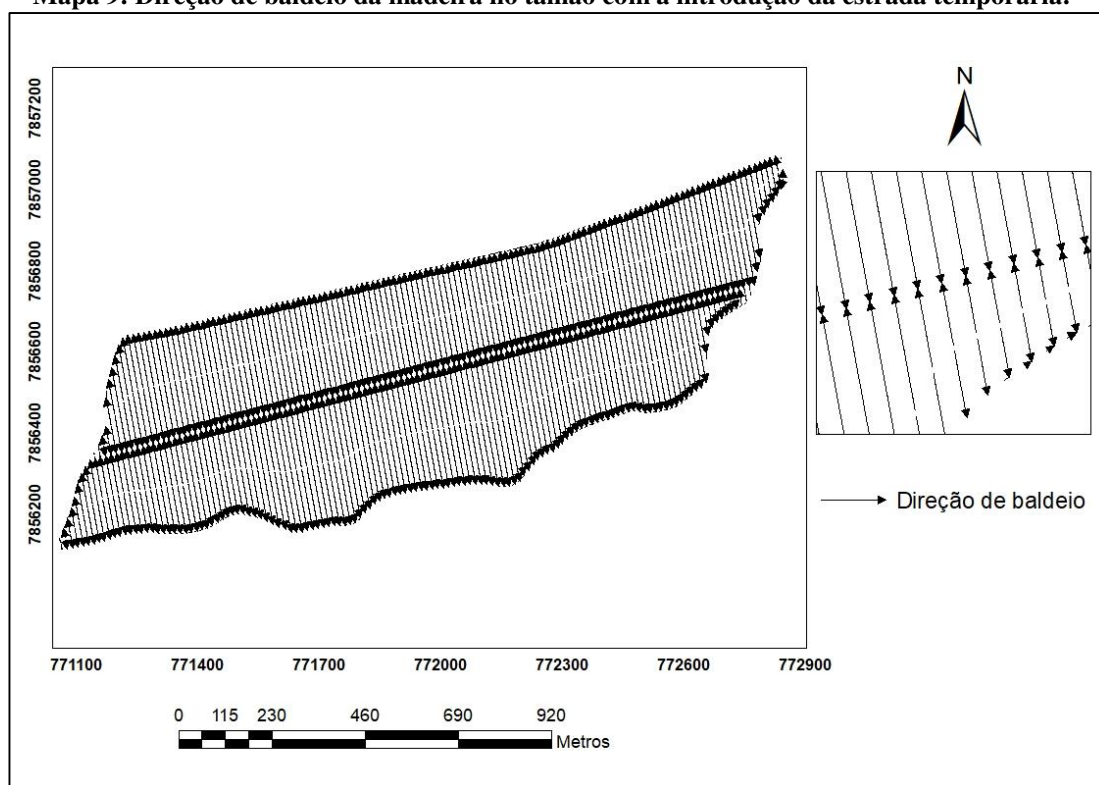
Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir de uma análise visual é possível notar a tendência da alocação da estrada temporária dividindo o talhão ao meio. O formato semelhante ao retângulo permite uma distribuição mais uniforme da madeira nas margens. Apenas nas extremidades inferior esquerda e superior direita formaram-se curvas na divisão do talhão, originada a partir dos diferentes sentidos de baldeio.

5.2 Distância e custo de extração com introdução da estrada temporária

Com a introdução da estrada temporária foram geradas as mesmas 20918 pilhas de madeira no interior do talhão. No entanto, os pontos de destino na margem do talhão para a formação da pilha de madeira baldeada aumentaram para 414. Como esperado, houve uma redução na distância de extração. A distância de extração máxima foi reduzida para 163 metros, enquanto a distância de extração ficou em 129 metros. Consequentemente, a produtividade média foi incrementada para 31,03 m³/h. Somados os custos de construção da estrada temporária e de extração, o custo total foi de US\$ 41270,73, gerando um custo médio de 2,97 US\$/m³. Isso mostra que, mesmo com o custo de construção da estrada temporária, sua introdução se mostrou financeiramente viável. A economia de US\$ 0,15/m³ cúbico gerou uma redução de custo final de US\$ 2032,36. É possível observar que na parte superior do talhão, a linha divisória das direções de baldeio se mantém quase reta, com pequena exceção nas extremidades. O mesmo não pode ser notado na parte inferior, já que seguindo as curvas das margens do talhão, a linha divisória da direção de baldeio possui comportamento mais irregular (MAPA 9).

Mapa 9: Direção de baldeio da madeira no talhão com a introdução da estrada temporária.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade (TABELA 1) permitiu observar o comportamento do custo médio de extração do metro cúbico de madeira à medida que estes tiveram acréscimos e decréscimos de mesmo percentual.

Tabela 1: Análise de sensibilidade do custo de extração em US\$/m³, considerando o aumento e redução de 2,5%, 5%, 7,5% e 10%, respectivamente. Sendo: SET (Sem estrada temporária), CET (Com estrada temporária), R1L (CET com replantio de uma linha), R2L (CET com replantio de duas linhas) e R3L (CET com replantio de três linhas).

	-10%	-7,5%	-5%	-2,5%	Médio	2,5%	5%	7,5%	10%
SET	2,81	2,89	2,96	3,04	3,12	3,20	3,28	3,35	3,43
CET	2,68	2,75	2,82	2,90	2,97	3,05	3,12	3,20	3,27
R1L	2,76	2,84	2,92	2,99	3,07	3,15	3,22	3,30	3,38
R2L	2,85	2,93	3,01	3,09	3,17	3,25	3,32	3,40	3,48
R3L	2,94	3,02	3,10	3,18	3,26	3,34	3,43	3,51	3,59

Fonte: Elaborado pelo autor.

No primeiro caso, avaliando o custo de extração sem a introdução da estrada temporária o valor mínimo atingido foi de US\$ 2,81/m³, enquanto o valor máximo foi de US\$ 3,43/m³. Considerando somente a implantação da estrada temporária, sem a realização de replantio, observou-se uma redução no custo de extração calculado, com os valores máximo e mínimo, de US\$ 2,68/m³ e US\$ 3,27/m³, respectivamente. Com isso, constatou-se o potencial de redução de custo de extração da madeira com a introdução da estrada temporária no talhão.

Quando avaliados os cenários em que se considera o replantio de uma a três linhas, houve um aumento considerável no custo final. No cenário em que se considera o replantio de apenas uma linha, o maior valor observado foi de US\$ 3,38/m³ e o menor de US\$ 2,76/m³. Vale ressaltar que, considerado o valor médio, neste cenário a execução das atividades ainda se mantém viável. O valor de US\$ 3,07/m³ é US\$ 0,05/m³ menor quando comparado com o cenário sem a introdução da estrada temporária, gerando uma economia total próxima de US\$ 694,00.

No entanto, a partir do replantio de duas linhas, a atividade já não se mostra viável considerando os valores médios. Ao contrário da implantação da estrada temporária e replantio de uma linha, o custo médio foi US\$ 0,05/m³ maior, com valor de US\$ 3,17/m³. É válido observar que quando comparado com o cenário sem a introdução da estrada temporária, caso seja alcançada uma redução dos custos na ordem de 2,5%, a atividade de replantio de duas linhas se torna viável.

Por fim, considerando o cenário com maior extensão de replantio, o custo se mostra ainda menos viável. Com valor médio de US\$ 3,26/m³, o valor é US\$ 0,14/m³ superior ao cenário sem a introdução da estrada temporária e US\$ 0,29/m³ maior quando comparado ao menor custo médio atingido. Entretanto, a análise mostra que, caso seja atingida uma redução de custos de extração da ordem de 10%, o cenário em questão passa a ser viável.

6 DISCUSSÃO

Neste estudo, verificou-se uma distância de extração no talhão sem a introdução da estrada temporária de 248 metros. Com isso, ficando com isso acima do recomendado por Carmo et al. (2015). Segundo este autor, a distância de extração de até 200 metros não gera uma diferença estatística significativa na produtividade do *forwarder*. Avaliando o efeito do comprimento da tora e da distância de extração, Machado e Lopes (2000) constataram que houve uma redução na produtividade do *forwarder* em torno de 7,6% com o aumento da distância de extração de 200 para 250 metros.

Investigando a influência de corredores ecológicos na produtividade de máquinas de colheita florestal, Araújo (2014) verificou a viabilidade econômica da construção de carregadores temporários em um dos lados do talhão com presença de vegetação nativa. Com a construção do carregador temporário, a distância média de extração foi reduzida de 169 para 104 metros. Essa redução da distância de extração proporcionou uma economia de US\$ 2.763,18 no custo de extração para um talhão de 30 hectares, considerando somente o aumento na produtividade de processamento de madeira com garra traçadora. Mesmo em se tratando de diferentes sistemas de colheita, *full tree* (estudo de Araújo) e *cut-to-length* (presente estudo) verificou-se que, a implantação de estradas temporárias proporcionaram oportunidades de ganhos em produtividade com consequente redução de custos.

Gomes (2016) realizando estudo comparativo entre três modelos distintos de *forwarder* em um povoamento de eucalipto localizado na região sul da Bahia encontrou diferença significativa estatisticamente com relação a produtividade. O *forwarder* modelo Tigercat 1035B apresentou produtividade efetiva de 65,01 m³/h, enquanto os modelos Ponsse Elephant e Komatsu 890.3 46,72 m³/h e 49,15 m³/h, respectivamente. A diferença de produtividade entre os modelos de *forwarder* pode ser explicada, além das diferenças de características técnicas entre as máquinas dos respectivos fabricantes, pela diferença no volume médio individual (VMI) das árvores. Vale ressaltar que o VMI no estudo do referido autor foi de 0,47 m³, enquanto que neste estudo foi de 0,18 m³. Entretanto, apesar de Malinovski et al. (2006) sustentarem que o VMI não exerce grande influência na produtividade do *forwarder*, sabe-se que volumes menores resultam em maior tempo despendido na atividade de carregamento, já que é necessário um maior número de toras e, consequentemente, de atividades parciais da grua para preencher o compartimento de carga da máquina.

O rendimento operacional horário efetivo do *forwarder* em estudo conduzido por Simões e Fenner (2010) foi de 94,89 m³, considerando uma distância média de extração de 175

metros em um povoamento de eucalipto de primeiro corte no estado de São Paulo. Para essa mesma distância, o custo de extração foi de US\$ 0,97/m³. A discrepância entre o estudo citado e este estudo pode ser explicada pela produtividade volumétrica da floresta, já que a mesma se encontra em local com condições edafoclimáticas mais favoráveis ao desenvolvimento do eucalipto. Os autores realizaram também uma análise objetivando avaliar o impacto da produtividade no custo de extração, no qual este variou de 0,92 US\$/m³ a 9,25 US\$/m³ para produtividades de 100 m³/h a 10 m³/h, respectivamente.

Nodari (2016), comparando dois diferentes modais do sistema de toras curtas em floresta de segunda rotação, verificou um aumento médio do custo de baldeio em US\$ 0,04/m³ a cada 100 metros acrescidos na distância de extração. A autora verificou ainda que a altura média dos tocos deixados no talhão influencia no ciclo operacional do *forwarder*. Em locais onde a altura média dos tocos foi de 8,2 centímetros no modal *feller buncher + harvester + forwarder*, o tempo teve tendência de redução de 27% em comparação com o modal *harvester + forwarder*, onde a altura média de tocos foi de 18,8 centímetros. Isso mostra que, além de parâmetros operacionais, aspectos qualitativos da operação de corte influenciam sobremaneira o desempenho do *forwarder*.

Avaliando o custo de extração do *forwarder* John Deere 1710D, Santos et al. (2016) em um estudo realizado em Minas Gerais encontrou o valor de US\$ 4,58/m³ para uma produtividade média de 33,22 m³/h. A partir de análise de sensibilidade, foi possível estabelecer também que o aumento de 10% na produtividade do *forwarder* poderia gerar uma economia média de US\$ 49.994,99 por ano. Leite et al. (2014), modelando o desempenho do mesmo modelo de *forwarder* na extração de madeira, constatou o aumento de 33% no tempo para execução de um ciclo operacional completo quando a distância de extração saltou de 150 para 300 metros.

Mazão, Brown e Robert, (2016) analisaram a produtividade do *forwarder* John Deere 1910E com diferentes modelos de garra de carregamento no Vale do Paraíba. Comparando os modelos de garra Super Grip 0,36 e 0,42, foi verificado incremento de 6,73% na produtividade da máquina. Ponderando a distância de extração para ambos cenários, 524 metros, a produtividade média foi de 23,88 m³/h com a garra de área 0,36 m² e 25,49 m³/h para a garra de 0,42 m².

Buscando a oportunidade de ganhos operacionais com a otimização do uso do *forwarder*, Castro et al. (2015) analisou o aumento da altura dos fueiros do compartimento de carga para diferentes volumes médios individuais. O autor observou que com o aumento da capacidade de carga da máquina, há oportunidade de ganho de produtividade na ordem de 32%,

54,7% e 44,5% para VMI's de $0,19 \text{ m}^3$, $0,10 \text{ m}^3$ e $0,15 \text{ m}^3$, respectivamente. É válido ressaltar que esse aumento da capacidade respeita os limites estabelecidos pelo fabricante do equipamento e a segurança operacional. Esse aumento do volume, e consequentemente do peso transportado, não afeta significativamente o custo operacional do *forwarder*, como corrobora o trabalho de Correia (2019). O autor mostra que a umidade da madeira, e consequentemente o peso operacional, não influencia de forma significativa o consumo de combustível do *forwarder* semelhante ao avaliado nesse estudo. Isso é justificado pelo fato de que, mesmo com o compartimento de carga preenchido, a máquina transporta aproximadamente 8 toneladas de madeira enquanto o limite operacional é de 19 toneladas.

Prates (2014) obteve resultados positivos na avaliação da implantação de ramais intermediários e estradas secundárias cascalhadas com fins de diminuição do custo de arraste de madeira com *skidders*. De acordo com a descrição da autora, os ramais secundários são semelhantes a estrada secundária proposta neste estudo. Foram avaliadas florestas de pinus e eucalipto, dois diferentes modelos de *skidders*, e cinco distâncias de arraste. Para a floresta de pinus, com VMI superior a $1,8 \text{ m}^3$, torna-se viável a instalação de ramais com distância de arraste superior a 150 metros. No caso de estradas secundárias cascalhadas, o investimento se mostra viável com distância superior a 200 metros. Já para a floresta de eucalipto, com VMI superior a $0,35 \text{ m}^3$, o ramal intermediário é viável economicamente para distâncias de arraste superiores a 200 metros, enquanto estradas secundárias apresentam viabilidade com distâncias superiores a 250 metros. Porém, no estudo apresentado, não houve distâncias de arraste superiores a 250 metros nas florestas de eucalipto, tornando a implantação dessa infraestrutura inviável para esse cenário.

Isso mostra, novamente, que o investimento em estruturas viárias temporárias possui potencial para reduzir o custo de extração de madeira.

7 CONCLUSÃO

A implantação da estrada temporária mostrou-se uma alternativa viável para a redução da distância e do custo de extração sem a necessidade da construção de estradas definitivas. Essa infraestrutura apresenta ainda maior oportunidade de ganhos em cenários onde o talhão for submetido ao regime de autofuste no ciclo subsequente, visto que não será realizado o replantio das linhas impactadas pela alocação da estrada temporária. A metodologia utilizada no trabalho se mostrou uma ferramenta útil no planejamento da extração com *forwarder* e na avaliação da viabilidade de alocação de estradas temporárias.

A análise de sensibilidade mostrou que uma pequena variação pode gerar impacto no custo final, demonstrando que existe a possibilidade tanto de viabilizar quanto inviabilizar alguns dos cenários propostos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. C. **Modelagem da produtividade e da velocidade do forwarder em áreas inclinadas**. 2019. 89f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2019.
- ARAÚJO, L. C. **Influência de corredores ecológicos na produtividade de máquinas de colheita florestal**. 2014. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2014.
- ARCE, J. E.; MACDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 383-391, 2004.
- AQUINO, S. L. de. Contrapondo interpretações de agricultores e pesquisadores sobre possíveis problemas ambientais causados pelo cultivo de eucalipto. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Curitiba, v. 28, p. 127–143, 2013.
- BELLI, A. P.; ANDRUCHECHEN, J. R.; RICHARTZ, F.; BORGERT, A. Estruturação de um sistema de custeio híbrido em uma empresa prestadora de serviços de colheita florestal. **Custos e agronegócio online**. Recife, v. 9, n. 3, p. 174-195, 2013.
- BERTIN, V. A. S. **Análise de dois modais de sistemas de colheita mecanizados de eucalipto em primeira rotação**. 2010. 82f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- BINKLEY, D.; COMPOE, O. C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R. L.; CEGATTA, I.; STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil e Uruguay. **Forest Ecology and Management**. v. 405, p. 271–283, 2017.
- CARMO, F. C. de A. do; FIEDLER, N. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. O. de. Otimização do uso do trator florestal forwarder em função da produtividade, custos e capacidade de carga. **Árvore**. Viçosa, v. 39, n. 3, p. 561–566, 2015.
- CASTILHO, A. F. de A. N. A extrafiscalidade no Brasil. **Jurídica Luso-Brasileira**. Lisboa, v. 2, n. 4, p. 135–159, 2016.
- CASTRO, C. A. de O.; RESENDE, R. T.; BHERING, L. L.; CRUZ, C. D. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 2016.
- CORREIA, L. P de S. **Estimativa do consumo horário de combustível do forwarder**. 2019. 60f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2019.
- DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. Código modelo de practicas de aproveitamiento forestal de la FAO, Roma, FAO, 1996, 85p

EMMERT, F.; PEREIRA, R. S.; REZENDE, A. V.; ENCINAS, J. I. Geoprocessamento como ferramenta de apoio à gerência de pavimentos em estradas florestais. **Ciencia Florestal**. Viçosa, v. 20, n. 1, p. 83–96, 2010.

GOMES, B. M. **Desempenho técnico e econômico de diferentes harvesters e forwarders na colheita de eucalipto**. 2016. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2016.

HAKAMADA, R. E.; STAPE, J. L.; LEMOS, C. C. Z. de; EMANUEL, A.; ALMEIDA, A.; SILVA, L. F. Uso do inventário florestal e da uniformidade entre árvores como ferramenta de monitoramento da qualidade silvicultural em plantios clonais de eucalipto. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 27–39, 2015.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2015**. São Paulo: Studio 113, 2015. 80 p. Disponível em: http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf. Acesso em: 20 de dez de 2019.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2019**. São Paulo: Studio 113, 2015. 80 p. Disponível em: http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf. Acesso em: 20 de dez de 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – 2017**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?&t=resultados>. Acesso em: 10 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – 2018**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?&t=resultados>. Acesso em: 10 out. 2019.

LANA, J. M. **Ecologia da paisagem de Mata Atlântica na Bacia do Rio Doce, Estado de Minas Gerais**. 2006. 116f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

LEITE, E. da S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

LEITE, E. da S. **Desenvolvimento de planos de colheita florestal de precisão utilizando tecnologias de geoprocessamento**. 2010. 120f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

LEITE, E. da S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. de.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo forwarder. **Árvore**. Viçosa, v.38, n. 5, p. 879-887, 2014

LIMA, J. P. C.; LEÃO, J. R. A. Dynamics of growth and diameter distribution of fragments

of native and planted forests in southwestern amazon | Dinâmica de Crescimento e Distribuição Diamétrica de Fragmentos de Florestas Nativa e Plantada na Amazônia Sul Ocidental. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 70–79, 2013.

LINHARES, M.; JÚNIOR, C. R. S.; CAMPOS, F.; YAMAGI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas Harvester e Forwarder na colheita florestal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, v. 42, n. 2, p. 212–219, 2012.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. da S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, v.6, n. 2, p. 124-129, 2000.

MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, P. G. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3 ed., Viçosa: Editora UFV, 2014. p. 15-45.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, P. G. Sistemas. In: MACHADO, C. C. **Colheita Florestal**. 3 ed., Viçosa: Editora UFV, 2014. p. 178-205.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. YAMAGI, F. M. Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal. **Floresta**, v. 36, n. 2, 2006.

MARTINI, A. J. Horto Florestal (atual FEENA) completa 100 anos. **Arquivo**. Rio Claro, v. 3, p. 13-16, 2009.

MAZÃO, C.; BROWN, R. O.; ROBERT, R. C. G. Análise da produtividade de um forwarder com o aumento da área da garra de carregamento. **Espacios**. Caracas, v. 38, n. 11, 2017.

MORAES, A. C. de. **Classificação de estradas e determinação de rotas de transporte utilizando sistema de informação geográfica**. 2014. 66f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

NODARI, A. do N. **Curvas de produtividade de baldeio em área de condução de rebrota de *Eucalyptus* sp. sob dois modais do sistema cut-to-length**. 2016. 10f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2016.

PAULA, E. N. D. S. O de **Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal**. 2011. 82 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

PRATES, E. **Relação econômica entre custo operacional de arraste de madeira para classes de distâncias e construção de estradas florestais**. 2014. 30f. Monografia (Especialista em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, 2014.

REZENDE, J. L.; FIEDLER, N. C.; MELLO, J. M.; SOUZA, A.P. Análise técnica e de custos

de métodos de colheita e transporte florestal. Lavras, MG: UFLA, 1997. 50 p. **Boletim Agropecuário**, 22.

RIBEIRO, C. A. A. S.; MARCATTI, G. E.; MUNARETTI, A. M.; SILVA, K. E.; ALMEIDA, D. R. A.; VASCONCELOS, R. S.; NETO, E. L. V. **Otimização do traçado de trilhas para acesso a recursos florestais naturais**. Embrapa Amazônia Ocidental, ISSN 1517-3135, doc. 134, 99 p., 2017.

ROBERT, R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de Eucalyptus spp. em duas condições de relevo acidentado**. 2013. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

SALLES, T. T.; ISBAEX, C.; SILVA, M. L. da; VALVERDE, S. R.; LUZ, T. M. O. Dinâmica de preços e quantidades exportadas de produtos florestais brasileiros, 1995-2013. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v. 36, n. 88, p. 451-457, 2016.

SANTOS, D. W. F. N. **Avaliação técnica, econômica, ambiental e ergonômica de máquinas florestais em função de configurações do motor e bomba hidráulica**. 2019. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2019.

SANTOS, L. N. dos; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L. da; TEIXEIRA, M. M.; SOUZA, A. P. de. Avaliação de custos da operação de extração da madeira com forwarder. **Cerne**. Lavras, v. 22, n. 1, p. 27-33, 2016.

SEIXAS, F.; CASTRO, G. P. Extração. In: MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2014. p. 106-177.

SILVA, M. L. da; CORDEIRO, S. A. Evolução dos Estudos Econômicos Relacionados à Eucaliptocultura. In: VALE, A. B. do; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. **Eucaliptocultura no Brasil: Silvicultura, Manejo e Ambiência**. Viçosa: SIF, 2014. p. 413-420.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Floresta**. Curitiba, v. 40, n. 4, p. 711-720, 2010.

SOUZA, M. C. de. **Avaliação da extração de madeira de eucalipto com o forwarder em áreas declivosas**. 2013. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2013.

SOUZA, M. A. de; PIRES, C. B.; SILVEIRA, F. C. Análise de custos de prestação de serviços de colheita florestal mecanizada. **Organizações Rurais e Agroindustriais**. Lavras, v. 13, n. 2 p. 270-289, 2011.

SZYMCZAK, D. A.; BRUN, E. J.; REINERT, D. J.; FRIGOTTO, T.; MAZZARILA, C. C.; LÚCIO, A. D.; MARAFIGA, J. Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de Pinus taeda L. na região sudoeste do Paraná. **Árvore**. Viçosa, v. 38, n. 4, p. 641-648, 2014.

VENTURIN, N.; JÚNIOR, E. C.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, R. P. Histórico. In: VALE, A. B. do; MACHADO, C. C.; PIRES, J. M. M.; VILAR, M. B.; COSTA, C. B.; NACIF, A. de P. **Eucaliptocultura no Brasil: Silvicultura, Manejo e Ambiência**. Viçosa: SIF, 2014. p. 17-38.

VIALLI, A. Política fiscal verde contra o aquecimento global. Página 22. São Paulo, n. 90 p. 10–15, 2011

ZHANG, F.; JOHNSON, D. M.; WANG, J.; YU, C. Cost, energy, use and GHG emissions for forest biomass harvesting operations. **Energy**, v. 114, p. 1053-1062, 2016.